

## BALANCE ADJUSTMENT DEVICE

**Patent number:** JP2004009176  
**Publication date:** 2004-01-15  
**Inventor:** MURATA KENICHI; KAKO YASUHIKO  
**Applicant:** YASKAWA ELECTRIC CORP  
**Classification:**  
- International: B23Q1/62; B23Q23/00; G05B19/404; G05D3/00;  
G05D3/12; H02P5/46; H02P5/52; B23Q1/25;  
B23Q23/00; G05B19/404; G05D3/00; G05D3/12;  
H02P5/46; (IPC1-7): B23Q1/62; B23Q23/00;  
G05B19/404; G05D3/00; G05D3/12; H02P5/46;  
H02P5/52  
- european:  
**Application number:** JP20020163901 20020605  
**Priority number(s):** JP20020163901 20020605

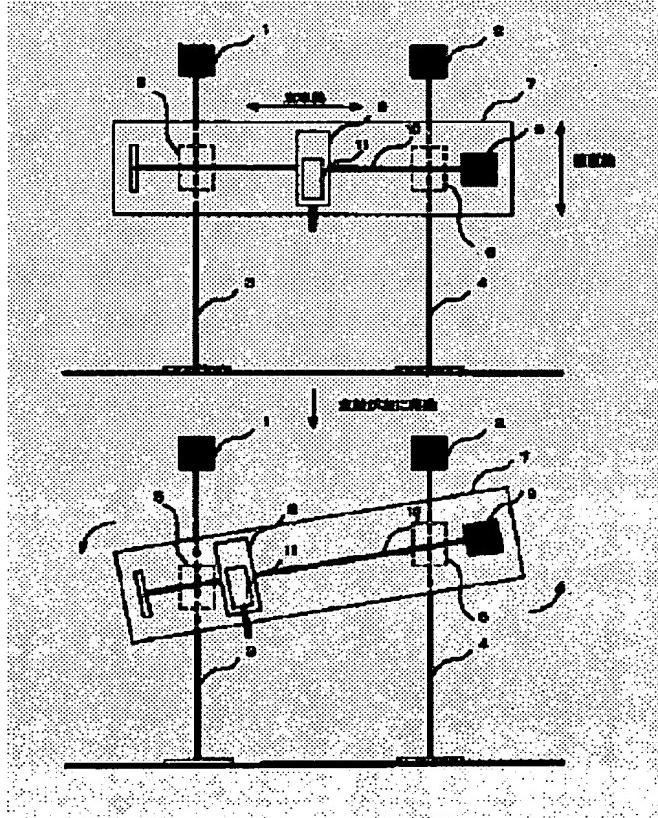
[Report a data error here](#)

### Abstract of JP2004009176

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To easily correct an angle error of two driving systems and a position of a moving body.

**SOLUTION:** In a machine tool having a constitution wherein a table (8) is moved on a table by a machine for driving a table (7) mounted to a gravity shaft using two ball screws (3, 4) and a servo-motor (1, 2), a position signal obtained from a linear scale or an encoder of a motor driving the table (8) regarding a horizontal position of the table (8) to an operator for operating a torque imparted to respective servo motors of double-shaft and the torque is added to a torque instruction of the servo motor of double-shaft.

**COPYRIGHT:** (C)2004,JPO



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

H-8706

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-9176

(P2004-9176A)

(43) 公開日 平成16年1月15日(2004.1.15)

(51) Int.Cl.

B23Q 1/62  
B23Q 23/00  
G05B 19/404  
G05D 3/00  
G05D 3/12

F 1

B23Q 1/20  
B23Q 23/00  
G05B 19/404  
G05D 3/00  
G05D 3/12

テーマコード(参考)

3C048  
5H269  
5H303  
5H572  
305L

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁) 最終頁に統く

(21) 出願番号  
(22) 出願日特願2002-163901 (P2002-163901)  
平成14年6月5日 (2002.6.5)

(71) 出願人

株式会社安川電機

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

(72) 発明者

村田 健一

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

(72) 発明者

加来 靖彦

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

Fターム(参考) 3C048 BC06 DD01 EE06  
5H269 AB05 AB31 BB03 CC01 CC15  
EE05 GG06 JJ01  
5H303 AA01 BB03 BB08 BB11 BB17  
DD01 DD25 FF04 JJ05 KK18  
KK29 KK33 QQ02 QQ06

最終頁に統く

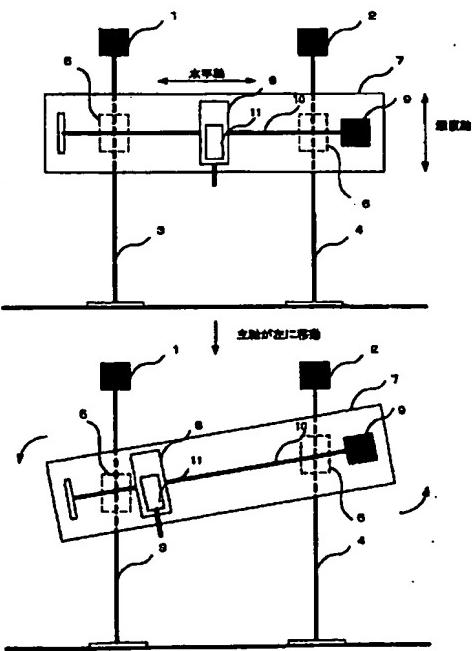
(54) 【発明の名称】 バランス調整装置

## (57) 【要約】

【課題】 2つの駆動系の角度誤差や移動体の姿勢を容易に補正すること。

【解決手段】 重力軸に取り付けられたテーブル3(7)を2つのボールねじ(3, 4)とサーボモータ(1, 2)を使って、駆動する機械で該テーブルの上をテーブル4(8)が移動する構成の工作機械において、テーブル4(8)の水平方向位置をリニアスケールもしくはテーブル4(8)を駆動するモータのエンコーダから得られた位置信号を2軸の各サーボモータに与えるトルクを演算する演算器に与え、該トルクを該2軸のサーボモータのトルク指令に足し込むことを特徴とするバランス調整装置。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

重力軸に取り付けられたテーブル3を2つのボールねじとサーボモータを使って駆動する機械で該テーブルの上をテーブル4が移動する構成の工作機械において、テーブル4の水平方向位置をリニアスケールもしくはテーブル4を駆動するモータのエンコーダから得られた位置信号を2軸の各サーボモータに与えるトルクを演算する演算器に与え、該トルクを該2軸のサーボモータのトルク指令に足し込むことを特徴とするバランス調整装置。

**【請求項 2】**

重力軸に取り付けられたテーブル3を2つのボールねじとサーボモータを使って、駆動する機械で該テーブルの上をテーブル4が移動する構成の工作機械において、テーブル4の水平方向位置をリニアスケールもしくはテーブル4を駆動するモータのエンコーダから得られた位置信号を2軸の各サーボモータに与えるトルクを演算する演算器に与え、該トルクと該2軸のボールねじとサーボモータからなる機械の共振周波数と反共振周波数から得られる該機械のバネ定数から、演算されるテーブル1とテーブル2の変位量をサーボモータの位置指令に足し込むことを特徴とするバランス調整装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、特に、門形マシニングセンタなどの工作機械において、クロスレールに沿って主軸頭が移動する時に生じる主軸頭の左右運動真直度の変動を調整するバランス調整装置に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

主軸頭の左右運動の水平真直精度を維持する技術としては、特開平9—94735に示すように、主軸の位置を検出し、検出位置から演算した補正信号を各々のボールねじの位置指令に足し込み主軸を補正することを特徴とするものであった。

**【0003】****【発明が解決しようとする課題】**

従来技術では、主軸の位置に合わせて、ボールねじの回転位置を補正するという方法を取っているが、本来与えた指令に足し込むように補正指令を与えた場合、位置指令の払い出し時間は、速度制御内のサンプリング時間に比べて遅い為、動的に補正を行う場合には、逆にヨーイング動作が発生する事が予想される。

本発明に關わる門形工作機械では、主軸ヘッドの位置により、ボールねじ1とボールねじ2に加わる外力が変わる為、ボールねじ1とボールねじ2のたわみが発生する。そのたわみにより、主軸の重力方向の位置が変化する。初期設定として、主軸位置がクロスレールの中央に有り、2つのモータ軸端の同期が取れていたとしても、主軸の位置がクロスレール上を移動することにより、ボールねじのたわみが発生し、クロスレールは、図1の下図となってしまう。現在、工作機械の要求精度は、 $1 \mu\text{m}/\text{パルス}$ の分解能で、 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ である。また近年、サブ $\mu\text{m}$ オーダーの分解能が要求されており、切削精度も、 $1 \mu\text{m}$ 以内となっている。

例えば、ボールねじのバネ定数が $100 * 10^6 \text{ N/m}$ で、テーブル重量が $150 \text{ kg}$ であった場合、1軸の自重によりテーブルz軸方向の変位量は、約 $15 \mu\text{m}$ となる。ボールねじのリードを $20 \text{ mm}$ で、モータイナーシャが、 $13.9 * 10^{-4} \text{ kg m}^2$ の時、共振周波数 $188 \text{ Hz}$ であり、反共振周波数が $130 \text{ Hz}$ となるような一般的な工作機械を仮定する。図1のようにクロスレールが付く場合、クロスレール(長さ： $1000 \text{ mm}$ )と主軸の重量がそれぞれ、 $100 \text{ kg}$ と $50 \text{ kg}$ としてクロスレール上の主軸が中央から左側に $300 \text{ mm}$ 離れた場合のボールねじのたわみ量を調べる。この時、たわみによりボールねじ1のテーブルの変位は、 $-3 \mu\text{m}$ でボールねじ2のテーブルの変位は、 $5 \mu\text{m}$ である。ボールねじ1と2のテーブルの変位差は、 $8 \mu\text{m}$ となる。 $8 \mu\text{m}$ という同期誤差は

、無視できない値である。

この変位の差が、 $z$ 軸方向から切削する時には、切り込み過ぎたり、切り込み足りなかりたりという原因になり、加工表面の筋目として現れる。

同期誤差には、静的な同期誤差と動的な誤差があり、静的な同期誤差とは、主軸位置が変わった時にボールねじ1と2にかかる外力により、ボールねじ1、2が伸縮し、テーブル1、2の位置ずれをあらわす。上記の例で上げたものである。また動的な誤差は、テーブル2が加減速する時に発生し、ボールねじ1、2にかかる外力である。例えば、上記と同じように、クロスレール（長さ：1000mm）と主軸の重量がそれぞれ100kgと50kgとしてクロスレール上の主軸が中央から左（テーブル1側）に300mm離れた場合のテーブル1とテーブル2にかかる外力を調べる。その時、テーブル1にかかる外力は、882Nで、テーブル2にかかる外力は、588Nである。テーブル1、2にかかる外力が異なる為、同期誤差が発生する。静的な同期誤差の補正方法は、従来技術と同じように、位置のフィードバック信号を指令信号に加える為、本発明と同じであるが、実施の形態が正確に示されていない為、実現が困難である。また、動的な誤差の補正に関しては、積極的な補正方法を述べたものが見当たらない。

#### 【0004】

本発明の目的は、このような従来技術の問題点を解消し、2つの駆動系の角度誤差や移動体の姿勢を容易に補正することができるバランス調整装置を提供することである。

#### 【0005】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、重力軸に取り付けられたテーブル3を2つのボールねじとサーボモータを使って、駆動する機械で該テーブルの上をテーブル4が移動する構成の工作機械において、テーブル4の水平方向位置をリニアスケールもしくはテーブル4を駆動するモータのエンコーダから得られた位置信号を2軸の各サーボモータに与えるトルクを演算する演算器に与え、該トルクを該2軸のサーボモータのトルク指令に足し込むことを特徴とするものである。

#### 【0006】

##### 【発明の実施の形態】

図1は、門形マシニングセンタの概略図である。1、2はサーボモータであり、3、4はボールねじである。5、6はボールねじ1、2に取り付けられたテーブル1、2であり、7は上下方向に移動するテーブル3であり、8は、テーブル3上を左右方向に移動するテーブル4である。テーブル4を駆動するサーボモータ3が9であり、そのサーボモータと結合されているボールねじが10である。さらにテーブル4の上に取り付けられた主軸が11である。図1において、主軸が左に移動するとサーボモータ1、2のトルクが変動し、左のテーブル端が右のテーブル端に比べて下がる。この関係は数式で表すことができる。テーブル2の移動距離を $X$ （テーブル4がサーボモータ3から一番遠い時を原点とし、一番近い時が、 $X$ となる。）とし、テーブル3の重心位置を $L$ （＝テーブル3の駆動距離/2）とする。また、テーブル3の重量を $W_t * g$ とし、テーブル4と主軸を合わせた重量を $W_m * g$ とする。テーブル3の移動距離により、サーボモータ1とサーボモータ2にかかる外乱トルクは、以下の2式を使って得られる。

垂直方向の力

#### 【0007】

$$D_{is1} + D_{is2} = (W_m + W_t) * g \quad (1)$$

$D_{is1}$ 、 $D_{is2}$ は、テーブル1、2にかかる外力を表す。

テーブル1周りの回転モーメントは、0より

$$W_m * g * X + W_t * g * L = D_{is2} * 2L \quad (2)$$

(1)、(2)式より、

$$D_{is1} = W_t * g / 2 + (1 - X / 2L) * W_m * g$$

(3)

$$D_{is2} = (Wt / 2 + Wm * X / 2L) * g$$

(4)

【0008】

(3)、(4)式で、テーブル3の重量分の外力は、サーボモータ1、2のトルク指令に出ているとすると変動する外力は、以下の式となる。

【0009】

$$D_{is1} = (1 - X / 2L) * Wm * g$$

(5)

$$D_{is2} = (Wm * X / 2L) * g$$

(6)

しかし、(5)、(6)式では、 $X = 0$ でサーボモータ1にかかる外力が $Wm * g$ で、ステップ状の外乱となる。また、サーボモータ2にかかる外力が0となる。これにより、サーボモータ1とボールねじ1からなる機械は、単振動を起す。その為、中心軸からの距離dを使うことにする。

$$x = L - d$$

(7)

(5)、(6)、(7)式から(8)、(9)式となる。

$$D_{is1} = (1 / 2 + d / 2L) Wm g$$

(8)

$$D_{is2} = (1 / 2 - d / 2L) Wm g$$

(9)

【0010】

(8)、(9)式は、テーブル4が重心位置lにある時に、サーボモータ1、2にそれぞれトルク補償がされていた場合、実際に、テーブル4の移動による外力の変動は、

$$D_{is1} = (d / 2L) Wm g$$

(10)

$$D_{is2} = - (d / 2L) Wm g$$

(11)

の式に簡略化される。

【0011】

(10)、(11)式に直線系を回転系にする変換定数( $p / 2\pi$ )を掛けるとモータにかかるトルクとなる。

$p$ は、ボールねじのリードの長さである。

$$\tau_1 = D_{is1} * (p / 2\pi)$$

$$\tau_2 = D_{is2} * (p / 2\pi)$$

(12)

$\tau_1$ 、 $\tau_2$ は、サーボモータ1、2にかかる外乱トルクである。

【0012】

第1の実施例で必要になる変位量算出の原理を説明する。

補正には、ボールねじ系の伸縮計算をする。その計算には、ばね定数、 $J_m$ (モータインナーシャ)、 $J_l$ (負荷インナーシャ)が必要となる。

(i) 予めカタログなどで、ばね定数がわかっている場合

$$\delta_x 1 = D_{is1} / K_1$$

$$\delta_x 2 = D_{is2} / K_2$$

(13)

により、たわみ $\delta_x 1$ 、 $\delta_x 2$ が計算される。 $D_{is1}$ 、 $D_{is2}$ は、テーブル1、2にそれぞれかかる外力であり、 $K_1$ 、 $K_2$ はカタログに書かれている値である。

【0013】

(ii) ばね定数が既知でない場合

予めボールねじ1、2とテーブル1、2とサーボモータ1、2からなる機械の周波数特性

を調べておく。この周波数特性から、共振周波数と反共振周波数が得られる。

共振周波数は

$$f_r = (1/2\pi) (K (1/J_m + 1/J_1))^{1/2} \quad (14)$$

反共振周波数は

$$f_a = (1/2\pi) (K/J_1)^{1/2} \quad (15)$$

【0014】

という関係式があり、それぞれKは、ボールネジとテーブルとサーボモータからなる機械のばね定数であり、J<sub>m</sub>はサーボモータのイナーシャ、J<sub>1</sub>はボールネジとテーブルからなるイナーシャである。ボールネジ1とテーブル1とサーボモータ1で得られたばね定数をK<sub>1</sub>とし、ボールネジ2とテーブル2とサーボモータ2からなる機械のばね定数をK<sub>2</sub>とする。(14)、(15)式から

【0015】

$$J_1 = J_m (f_r/f_a)^2 - J_m \quad (16)$$

(16)式を(15)式に代入すると

$$K = (2\pi * f_a)^2 J_m [(f_r/f_a)^2 - 1] \quad (17)$$

【0016】

が得られる。

J<sub>m</sub>は、予めモータのカタログより演算できる為、(17)式より、ばね定数Kが計算できる。それぞれのばね定数K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>を求めておく。

(iii) (ii) のように周波数特性が得られない場合

ボールネジ1、2とテーブル1、2とサーボモータ1、2からなる機械で、速度及び位置制御が組まれている場合制御パラメータの値を大きくしていくと振動が発生する。その振動を加速度計もしくは、トルクをモニタすることにより、振動周波数がわかる。その振動周波数は、(14)式に上げた共振周波数である。制御ループが組まれている場合、予め、J<sub>m</sub>のサーボモータイナーシャとJ<sub>1</sub>のボールネジとテーブルからなる負荷イナーシャの比J<sub>1</sub>/J<sub>m</sub>は、イナーシャ同定して負荷イナーシャと求めることはできる。また、イナーシャ同定されなくとも、速度ループゲインを調整する為、負荷イナーシャはカタログなどでわかっている。

イナーシャ比が得られると(14)式を変形して、

【0017】

【数1】

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{J_m} \left(1 + \frac{J_m}{J_1}\right)} \quad (18)$$

【0018】

となる。

さらに(18)式を展開して、

【0019】

【数2】

$$K = \frac{(2\pi * f_r)^2 * J_m}{1 + \frac{J_m}{J_1}} \quad (19)$$

【0020】

となる。

J<sub>m</sub>は予めカタログで分かっており、また、共振周波数とイナーシャ比は、分かっているので、ばね定数Kが(19)式を使って求められる。

(17) 式と(19)式のばね定数Kは、回転方向のばね定数である為、直線方向のばね定数K'に変換する。

$$K' = K (2\pi/P)^2 \quad (20)$$

この変換を行ったばね定数K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>は、K<sub>1'</sub>、K<sub>2'</sub>として得られる。Pはポールネジのリードである。リードはカタログより得られる。

(20)式と外乱D<sub>is1</sub>、D<sub>is2</sub>の関係式は、

$$\delta_x 1 = D_{is1} / K_1'$$

$$\delta_x 2 = D_{is2} / K_2'$$

(21)

#### 【0021】

このばね定数と外乱からテーブル1とテーブル2の変位量が得られる。(21)式は、直線の変位量である。この変位量をパルス換算して、位置指令に足し込む事により、静的な補正が可能である。図3に示す17の変換装置は、ばね定数と変位量をサーボモータのパルスに変換する装置である。

1 μmあたりの1パルスであった時、(21)はパルス換算して、

$$\delta_r 1 = \delta_x 1$$

$$\delta_r 2 = \delta_x 2$$

(22)

となる。δ<sub>r1</sub>、δ<sub>r2</sub>の単位はパルスである。

#### 【0022】

第1の実施例を図2を使って説明する。

サーボモータ1とポールネジ1とテーブル1とからなる機構系を含む位置制御系が13であり、位置制御系に入力される位置指令が12である。同様に、サーボモータ2とポールネジ2とテーブル2とからなる機構系を含む位置制御系が14である。8のテーブル4が移動する事により、エンコーダ15には、その移動パルスが、トルク演算器16に入力される。トルク演算器に入力されたパルスを使って、(10)～(12)の演算を行った後、トルクを出力する。そのトルクを使って、変換装置1、2において(21)、(22)の演算を行う。得られた値の単位は、パルスである。その値を位置指令に入力することにより、テーブル3が移動しても、テーブル1、2の絶対位置がずれる事はない。

第1の実施例をシミュレーションで行った結果を図6に示す。シミュレーション結果は、全てテーブル1とテーブル2の位置の偏差信号を表している。

モータの位置制御のみを使用した場合の結果は、図5であり、この場合、負荷位置が変化しても、変化分が補正されていない為、0に戻らない。その結果、テーブル1とテーブル2が傾いた状態になる。それに対して、第1の実施例のシミュレーション結果では、テーブル1とテーブル2の定常状態での偏差が0になっている事がわかる。

#### 【0023】

次に第2の実施例を図3を使って説明する。

静的な同期誤差を補正する必要がある為、図2に動的な補正装置を加えた図となっている。動的な補正装置のみの説明をここで行う。サーボモータ1の位置制御系が13であり、サーボモータ2の位置制御系が14である。テーブル4の場所が、左に移動した時に、サーボモータ3のエンコーダ15の信号を16のトルク演算器に入力する。トルク演算器では、(12)式のトルクが演算され、さらにフィルタに通過させて、T1とT2を出力させる。フィルタの構造を図4で説明し、式を導出する。

図4は、モータモデル24と負荷モデル25の2慣性系システムである。負荷モデルにかかる外乱トルク23は、(12)式で表せるものであった。その外乱トルク23からモータ反力20までの伝達関数で表すと、次式となる。

#### 【0024】

#### 【数3】

$$T_m = \frac{J_m}{J_m + J_l} \cdot \frac{K}{s^2 + \frac{J_m + J_l}{J_m + J_l} K} T \quad (23)$$

【0025】

T<sub>m</sub>はモータ反力20を表し、Tは、τ1とτ2の外乱23を表している。

(5)式の伝達関数を次式の2次フィルタとゲインで表すことができる。

【0026】

【数4】

$$T_m = \frac{J_m}{J_m + J_l} \cdot \frac{\omega_0^2}{s^2 + \omega_0^2} T \quad (24)$$

$$\omega_0 = \sqrt{K \left( \frac{1}{J_m} + \frac{1}{J_l} \right)} \quad (25)$$

【0027】

 $\omega_0$ は、2慣性系の共振角周波数である。共振角周波数の計算は、(25)式で示す。

(24)式では、フィルタに粘性係数ζが入っていないので、(26)式に変形する。フィルタの式は、(26)となる。

【0028】

【数5】

$$T_m = \frac{J_m}{J_m + J_l} \cdot \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2} T \quad (26)$$

【0029】

T<sub>m</sub>は、図2の推定トルクT1とT2に対応し、この推定トルクをモータのトルク指令に入れることにより、動的同期誤差を補正することができる。第2の実施例を使ったシミュレーション結果を図7に示す。動的な補正を行っている為、図6(第1の実施例の結果)での過渡状態で、70μm程度の偏差が出ていたものが、図7では、過渡状態においても、2.5μm程度に小さくなっている事がわかる。過渡状態でも、定常状態でも良好な結果が得られ、効果が確認できる。

【0030】

【発明の効果】

重力軸に取り付けられたテーブル3を2つのボールねじとサーボモータを使って駆動する機械で該テーブルの上をテーブル4が移動する構成の工作機械において、テーブル4の水平方向位置をリニアスケールもしくはテーブル4を駆動するモータのエンコーダから得られた位置信号を2軸の各サーボモータに与えるトルクを演算する演算器に与え、該トルクを該2軸のサーボモータのトルク指令に足し込むので、2つの駆動系の角度誤差や移動体の姿勢を容易に補正することができ、動的にも静的にも同期誤差を補正し、主軸のバランス調整ができるバランス調整装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】門形マシニングセンタの概略図

【図2】本発明の第一の実施例

【図3】本発明の第二の実施例

【図4】補正トルクを生成する為の2次フィルタの設計方法

【図5】本発明の装置が適用されていない場合のシミュレーション結果

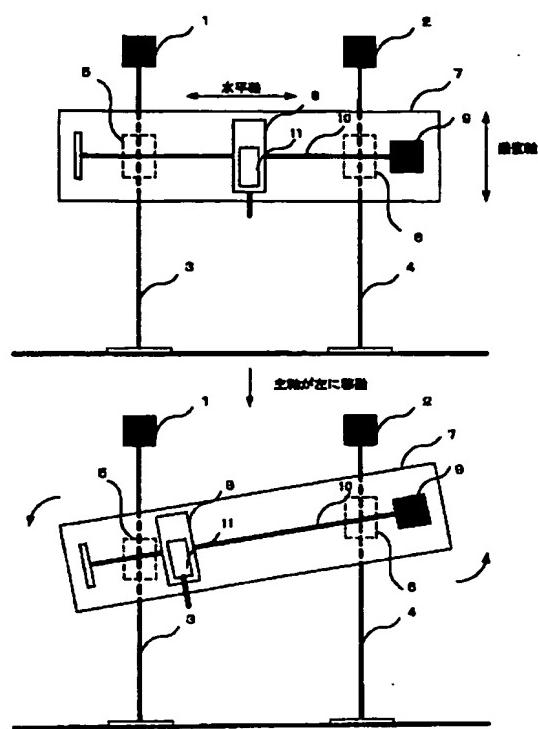
【図6】本発明の第一の実施例を示すシミュレーション結果

【図7】本発明の第二の実施例を示すシミュレーション結果

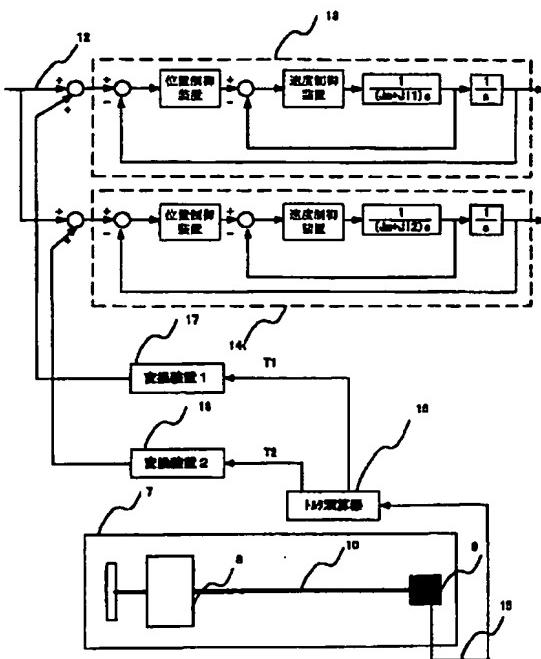
【符号の説明】

- 1 サーボモータ1
- 2 サーボモータ2
- 3 ボールねじ1
- 4 ボールねじ2
- 5 テーブル1
- 6 テーブル2
- 7 テーブル3
- 8 テーブル4
- 9 サーボモータ3
- 10 ボールねじ3
- 11 主軸
- 12 位置指令
- 13 サーボモータ1側の位置制御系
- 14 サーボモータ2側の位置制御系
- 15 サーボモータ3のエンコーダ信号
- 16 トルク演算器
- 17 変換装置1
- 18 変換装置2
- 19 モータ反力
- 20 モータトルク
- 21 モータ速度
- 22 負荷速度
- 23 外乱
- 24 モータモデル（サーボモータ1、2のモデル）
- 25 負荷モデル（テーブル1、2のモデル）
- 26 バネモデル（差速度を力に変換する）

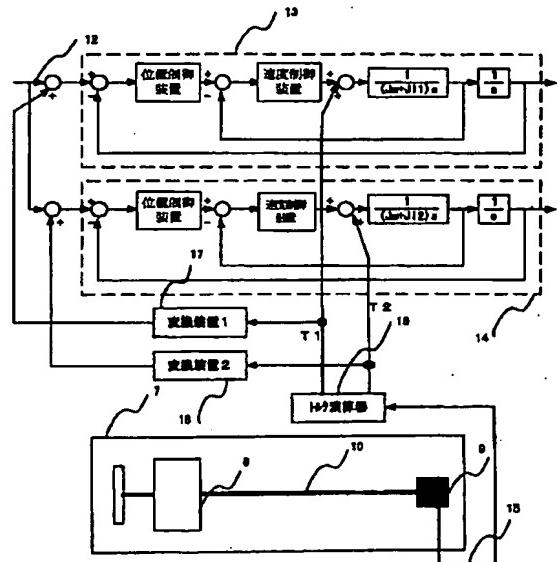
【図 1】



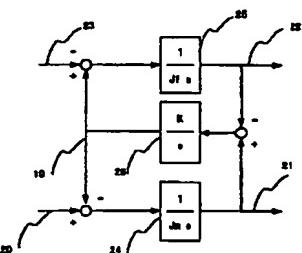
【図 2】



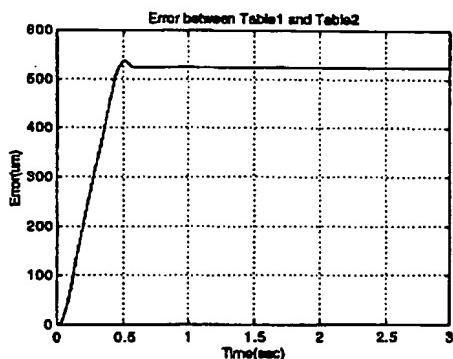
【図 3】



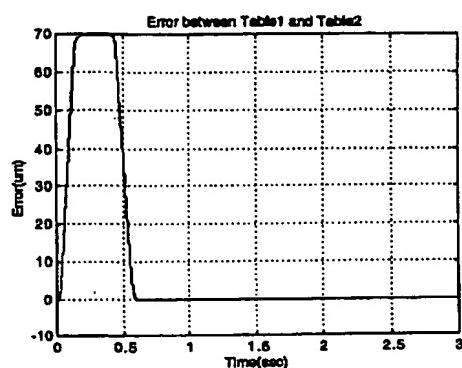
【図 4】



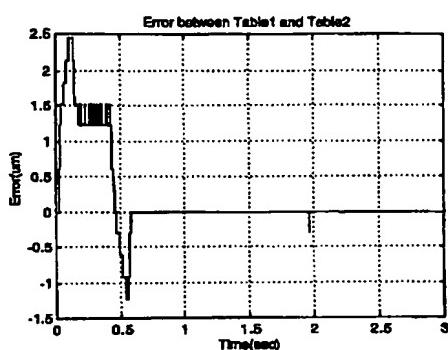
【図 5】



【図 6】



【図 7】



---

フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

F I

テーマコード(参考)

H O 2 P 5/46

H O 2 P 5/46

F

H O 2 P 5/52

H O 2 P 5/52

A

F ターム(参考) 5H572 AA14 BB07 DD01 EE03 GG01 GG02 JJ22 LL01 LL07 LL31

MM16